

日射および紫外線がイチゴの果皮硬度に及ぼす影響

水上宏二*・奥 幸一郎¹⁾・小賦幸一²⁾

イチゴ「福岡 S6 号」の 3 月以降における果実の取り扱いやすさおよび日持ち性の向上を図るため、光環境が果皮硬度に及ぼす影響について検討した。イチゴ果実の果皮硬度は、日射が当たる果実面が当たらない果実面より高く、日射中の UV 強度を低減すると低下した。このことから、果皮硬度は、収穫前の果実に照射される日射中の UV 量に強く影響を受けると推察される。また、3～4 月の果実に UV-B を 0.65～2.16 kJ/m²/d で夜間照射すると果皮が硬くなり、その効果は収穫前 7 日間以上の照射で発現することが示唆された。

[キーワード：イチゴ，果皮硬度，日射，UV-B，夜間照射]

Effects of Solar Radiation and Ultraviolet Irradiation on Pericarp Firmness of Strawberry Fruits. MIZUKAMI Koji, Koichiro OKU and Koichi OBU (Fukuoka Agriculture and Forestry Research Center, Chikushino, Fukuoka 818-8549, Japan) *Bull. Fukuoka Agric. For. Res. Cent.* 7: 14-20 (2021)

The effect of light on pericarp firmness of strawberry fruits grown from March to April was investigated to improve the handling and shelf life of these fruits. The pericarp surface of the strawberry fruit exposed to solar radiation was harder than the unexposed surface. Pericarp firmness decreased when the ultraviolet intensity in solar radiation was reduced. These results suggested that pericarp firmness was strongly affected by the intensity of ultraviolet irradiation on strawberry fruits before harvest. Furthermore, it was suggested that the pericarp of strawberry fruits grown from March to April hardened following irradiation with 0.65 to 2.16 kJ/m²/d ultraviolet-B at night for more than 7 days before harvest.

[Key words: night irradiation, pericarp firmness, solar radiation, strawberry, ultraviolet-B]

緒言

福岡県におけるイチゴ (*Fragaria × ananassa* Duchesne) 生産は、本県オリジナル品種「福岡 S6 号」(商標名あまおう) の促成栽培によって行われており、11 月下旬から 5 月末まで主に京浜地域を中心に出荷されている。2017 年産の生産量は 16,300 t で栃木県に次いで全国第 2 位であり(農林水産省 2018)、イチゴは本県の農産物の中でも重要な品目である。「福岡 S6 号」は、外観や品質面で市場評価が高く高値で取引されているが、気温が上昇する 3 月以降は果実が軟らかくなり(佐藤・北島 2007, 堤ら 2005)、店舗で果実の傷みが発生しやすいことが問題となっている。

イチゴ果実の日持ち性は、収穫時の果実の硬さと密接な関係があり、果皮の硬さ(以下、果皮硬度)の方が果肉の硬さよりも重要とされている(門馬・上村 1978)。また、望月ら(2001)は、貯蔵に伴う日持ち性低下の一要因として完全着色時の果皮硬度が関係していることを報告している。このように、イチゴ果実の硬さ、特に果皮硬度は日持ち性に強く関与しているとともに、収穫や調製作業時の取り扱いやすさにも影響する重要な形質といえる。

イチゴ果実の硬さを向上させる方法については、収穫後では低温や炭酸ガス処理によって果実が硬くなること(後藤ら 1998, 松本ら 1985, 大竹・田中 1988, Smith 1992)、栽培中の環境条件では適量の施肥が日持ち性をよくし(内山・吉松 1977)、収穫前のカルシウムの葉面散布で果実が硬くなること(ナラ 1999)が報告されている。また、気温が低い朝や夜間に収穫した果実は相対的に硬い傾向にあり(中川ら 1985)、これらの知見は

生産現場で活用されている。光環境については、遮光により果実は軟らかくなり、日射量が果実の硬さに強く影響すること(中川ら 1985)、収穫後のイチゴ果実に紫外線(以下、UV)の中の UV-A を照射しても果実の硬さには影響がないこと(東尾ら 2009)が報告されており、我々もまた、イチゴの栽培中の果実に UV-A を照射しても、果皮硬度に影響を及ぼさないことを確認している(未発表)。一方で UV-B の植物体への照射では、多くの種で生長阻害や葉面積の減少、葉の厚みが増すなどの適応反応が観察され(林田ら 2004, 稲本ら 1995, 野内 1997)、病害抵抗性遺伝子の発現(Kanto *et al.* 2009, 岡ら 2011)など UV-A の照射ではみられない反応が誘発される(Brederode *et al.* 1991, Green・Fluhr 1995)。しかしながら、イチゴの栽培中における UV-B が果実の硬さに及ぼす影響については知見がない。

そこで本研究では、日射がイチゴ果実の果皮硬度に及ぼす影響を明らかにするとともに、3 月以降における果実の日持ち性向上を図るため、「福岡 S6 号」の栽培中における UV の低減および UV-B の照射が果皮硬度に及ぼす影響について検討した。

材料および方法

イチゴ「福岡 S6 号」を供試し、2011 年および 2012 年度に福岡県農林業総合試験場(筑紫野市)の高設および土耕栽培ハウスで以下の試験を行った。いずれの年度も 6 月に専用親株から 9cm ポリポットに鉢受けし、雨よけハウスで育苗した苗を、8 月 23 日から夜冷短日処理(福岡県 2006)して 9 月 15 日に定植した。高設栽培は、間口 6m, 奥行 10m, 軒高 1.8m の単棟ハウス内に強化

*連絡責任者(野菜部：mizukami-k8720@pref.fukuoka.lg.jp)

受付 2020 年 7 月 16 日；受理 2020 年 10 月 12 日

1) 現 福岡県筑後農林事務所南筑後普及指導センター

2) 現 福岡県農林水産部経営技術支援課

プラスチック製栽培槽（PSK-3000，矢崎化工（株））を110cmの高さに配置し、培養土に高設専用培土唐津型（清新産業（株））を用いて、株間20cm，条間20cmの2条外なりとした。施肥は基肥を施用せず，OK-F-1（N:P₂O₅:K₂O=15:8:17，OAT アグリオ（株））の2,000～3,000倍溶液で灌水同時施肥した。土耕栽培は，間口7m，奥行24m，軒高2.0mの単棟ハウスで行い，2011年度が株間15cm，条間45cm，2012年度が株間25cm，条間50cmで，ともに2条内なりとした。基肥は，あまおう専用肥料（N:P₂O₅:K₂O=8:6:3，大日本産肥（株））を窒素成分で5kg/10a，追肥にはあまおう専用肥料とスーパーエコロング413-140（N:P₂O₅:K₂O=14:11:13，ジェイカムアグリ（株））をそれぞれ5kg/10a施用した。いずれのハウスも10月下旬に一般農P0フィルム（スカイコート5，厚さ0.1mm）を被覆し，適宜葉よけをして果実に光が十分に当たるように管理した。その他の栽培管理は，本県栽培指針に準じた。収穫は2～3回/週，8時30分から10時の間に完全着色で行い，収穫した果実は室温（平均気温20℃，最高23℃，最低18℃）で保存して13～14時に果実硬度の測定に供試した。

果実硬度の測定はクリープメータ（RHEONER II，（株）山電）を用い，門馬ら（1977）の方法に準じてプランジャ径2mm，貫入速度100mm/minの条件で行った。なお，日射が当たらない果実面（以下，日裏面）の測定以外は，すべての試験で日射が当たる果実面（以下，日表面）を測定した。プランジャ貫入位置は，果実赤道面上の瘦果の間とし，貫入時にプランジャが果実表面に対して直角を保つようにした。果実硬度は，門馬ら（1977）の方法に準じて，果皮貫入時の最大荷重から果肉貫入時の荷重を除いて推定した。測定に供試した果実は，日表面と日裏面の比較試験以外，果重12～40gの範囲であったが，測定日ごとに各区の大きさが同程度となるように選抜した。

UV-B強度は，オプトメーターX1-1およびセンサーUV0-3702（Gigahertz-Optik社）を用い，センサー受光部を上向きにした果実直上の水平面強度を各区5か所測定して平均した。

1 試験年における3～5月の全天日射量の変化

福岡市のアメダスデータ（気象庁2020a）を用い，2012年および2013年における3月1日～5月20日の全天日射量を半旬ごとに合計してその変化をみた。

2 日射およびUV除去が果皮硬度に及ぼす影響

日射がイチゴの果皮硬度に及ぼす影響を明らかにするため，2013年2月19日に土耕栽培で収穫した果重8～23g（平均15.3g）の大きさが異なる果実16果について，日表面と日裏面の果皮硬度を測定して比較した。

日射の中でもUVが果皮硬度に及ぼす影響を明らかにするため，2012年4月25日に高設栽培ハウス内に350nm以下のUVをほぼ完全除去する農ビフィルム（タフニール強力S-2000UV，厚さ0.075mm）および一般農ビフィルム（ハイヒット21，厚さ0.075mm）を株元から高さ100cm

にそれぞれ平張りするUV除去農ビ区，一般農ビ区およびフィルムを平張りしない無処理区の3区を設け，平張り7日後の5月2日から2，3日おきに22日後まで収穫果実の果皮硬度を測定した。試験規模は1区6株の4反復で，果皮硬度の測定には1区当たり5果を供試した。外張りおよび平張りに供試したフィルムは，2012年4月25日にそれぞれ5cm角で3か所サンプリングし，分光光度計（HITACHI320形，（株）日立製作所）で280～600nmの波長域を10nm刻みで測定，平均して資材ごとの波長別分光透過率を求めた。この分光透過率を基に各区におけるUV-B（280～320nm），UV-A（320～400nm）および可視光（400～600nm）の平均透過率を外張りフィルムの値または外張り和平張りフィルムの値の積から算出した。また，福岡市のアメダスデータ（気象庁2020a）の全天日射量と各区のUV-B平均透過率から，平張り処理期間における各処理区のUV-Bの積算除去量を推定した。なお，全天日射量に占めるUV-B量の割合は，UV-B量の観測データがあるつくば市における2012年4，5月のアメダスデータの月平均全天日射量34.5MJ/m²（気象庁2020a），日積算月平均UV-B量37.7kJ/m²（気象庁2020b）から算出して0.1%とした。

3 UV-B照射が果皮硬度に及ぼす影響

UV-Bの照射時間帯がイチゴの果皮硬度に及ぼす影響を明らかにするため，UV-Bを果実直上における放射強度（以下，強度）8～10μW/cm²で昼間（10時～）または夜間（21時～）にそれぞれ3時間ならびに6時間照射する区と無照射区の5区を設け，2012年4月11日に果皮硬度を調査した（試験3-1）。また，UV-B照射が果実の成熟日数に与える影響を明らかにするため，2012年3月10日に開花した花にラベリングし，開花から収穫までにかかった日数を比較した。UV-Bの照射は，2012年1月18日から4月20日まで毎日，UV-B蛍光灯（タフナレイYGRFX21701GH/5，パナソニック（株），波長域280～320nm）で行った。UV-B蛍光灯は，UV-Bを設定強度に調整するためにパンチングメタルを装着して50%減光し，土耕栽培ハウスの株元から高さ120～150cmの位置に設置した。試験規模は1区12株の3反復で，果皮硬度の測定には1区当たり6果を供試した。

次に，夜間に照射したUV-B強度の違いが果皮硬度に及ぼす影響を明らかにするため，2012年10月1日に土耕栽培ハウスにUV-B蛍光灯を試験3-1と同様に設置し，毎日23時から4時間，強度3または7μW/cm²で2013年3月末まで照射する区と無照射区の3区を設け，1～3月の各月1回果皮硬度を測定した（試験3-2）。試験規模は1区10株の3反復で，果皮硬度の測定には1区当たり5果を供試した。

さらに，夜間におけるUV-Bの照射日数と果皮硬度の関係を明らかにするため，2012年4月13日から23日まで毎日21時から6時間，強度3または10μW/cm²で照射する区と無照射区の3区を設け，UV-B照射2日前と照射開始後3，5，7および10日目の果実の果皮硬度を測定した。すなわち，UV-B未照射とUV-Bを収穫前3，5，

7 および 10 日間照射した果実の果皮硬度を無照射区と比較した (試験 3-3)。試験規模は 1 区 12 株の 3 反復で、果皮硬度の測定には 1 区当たり 6 果を供試した。なお、一連の UV-B 照射試験における試験区の構成は第 1 表に示した。

4 UV-B 夜間照射による 3~4 月の果皮硬度上昇効果

軟化が問題となる 3 月以降の果実について、本試験の UV-B 夜間照射による果皮硬度上昇効果を 1 日当たりの照射量 ($\text{kJ}/\text{m}^2/\text{d}$) で比較した。1 日当たりの UV-B 照射量は、強度 $E_{\mu\text{W}/\text{cm}^2}$ で 1 日 t 時間照射したとき、次式により算出した。

$$\text{UV-B 照射量 } (\text{kJ}/\text{m}^2/\text{d}) = E \cdot t \cdot 36 \times 10^{-3}$$

第 1 表 UV-B 照射試験における試験区の構成

試験番号	UV-B 強度 ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)	照射時間 (h)	照射時間帯		照射量 ¹⁾ ($\text{kJ}/\text{m}^2/\text{d}$)	照射期間, 果皮調査時期
			昼	夜		
3-1	8~10	3	○	○	0.86~1.08	開花~収穫, 4月
	8~10	6	○	○	1.73~2.16	
3-2	3	4	—	○	0.43	開花~収穫, 1~3月
	7	4	—	○	1.01	
3-3	3	6	—	○	0.65	収穫前3~10 日間, 4月
	10	6	—	○	2.16	

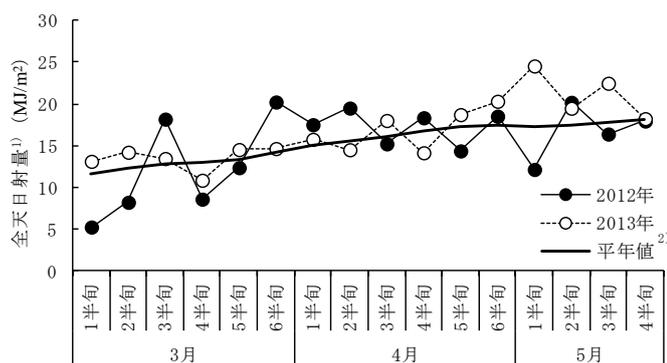
1) UV-B 強度 \times 1 日の照射時間 $\times 36 \times 10^{-3}$ で算出

2) いずれの試験も UV-B を照射しない無処理区を設けた

結果

1 試験年における 3~5 月の全天日射量の変化

第 1 図に 2012 年および 2013 年における 3~5 月の半旬別全天日射量の変化を示した。2012 年の日射量は、平年値と比べて 3 月 3, 6 半旬, 4 月 1, 2, 4 半旬および 5 月 2 半旬が多く、3 月 1, 2, 4 半旬, 4 月 5 半旬および 5 月 1 半旬が少なかった。2013 年の日射量は、3~4 月が概ね平年並みで推移し、5 月 1, 3 半旬が平年より多かった。



第 1 図 各試験年 3~5 月の半旬別全天日射量の変化

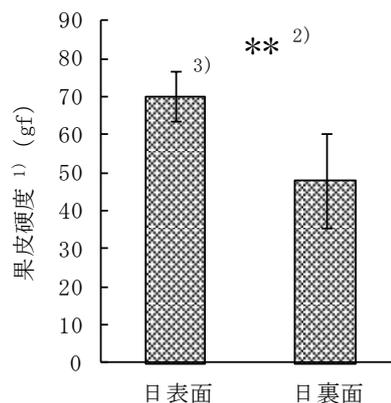
- 1) 福岡市のアメダスデータ
- 2) 1981~2010 年の 30 年平均値

2 日射および UV 除去が果皮硬度に及ぼす影響

第 2 図に土耕で慣行栽培したイチゴ果実の日表面と日裏面における果皮硬度の差異を示した。イチゴ果実の日

表面の果皮硬度の平均値は 70.2gf で、日裏面の 47.9gf と比べて 1% 水準で有意に高かった。

第 2 表にフィルム平張り処理による各区の波長域別透過率を示した。各区における可視光域の平均透過率は、UV 除去農ビ区が 71.4%、一般農ビ区が 72.2% で、両区とも無処理区の 80.9% 対比 88 および 89 で約 10% 低かった。UV-A 波長域の平均透過率は、UV 除去農ビ区が 27.5%、一般農ビ区が 44.0% で、それぞれ無処理区の 61.1% 対比 45 および 72 と UV-A が低下した。UV-B 波長域の平均透過率は、UV 除去農ビ区が 0.1%、一般農ビ区が 10.0% で、それぞれ無処理区の 33.5% 対比 0.3 および 30 と UV-B が大幅に低減された。



第 2 図 イチゴ果実の日表面と日裏面における果皮硬度の差異

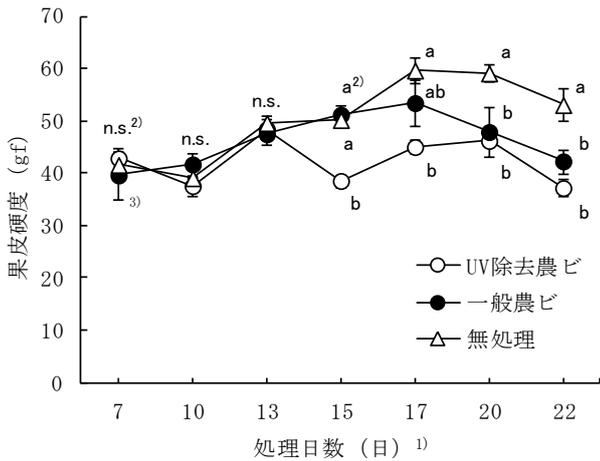
- 1) 2013 年 2 月 19 日に収穫した果実を測定
- 2) t 検定により ** は 1% 水準で有意差あり
- 3) エラーバーは標準偏差を示す (n=16)

第 2 表 フィルム平張り処理による各区の波長域別透過率

処理区	平均透過率 ¹⁾ (%)		
	可視光 (400~600 nm)	UV-A (320~400 nm)	UV-B (280~320 nm)
UV 除去農ビ	71.4 (88) ²⁾	27.5 (45)	0.1 (0.3)
一般農ビ	72.2 (89)	44.0 (72)	10.0 (30)
無処理	80.9	61.1	33.5

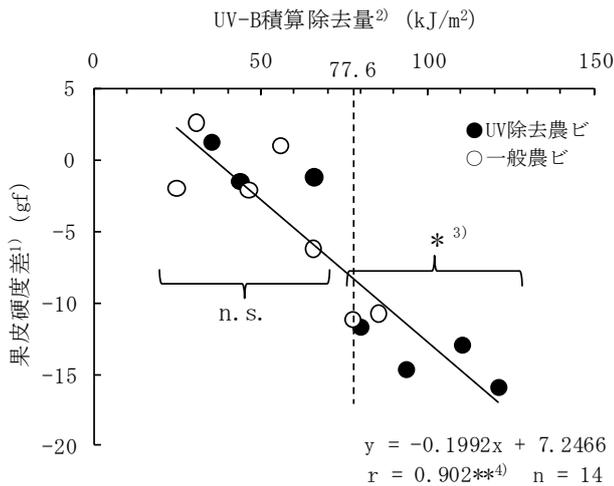
- 1) 分光光度計 (HITACHI 320 形) による測定値から算出
- 2) 括弧内の数値は無処理区対比

第 3 図にフィルムの平張り日数がイチゴの果皮硬度に及ぼす影響を示した。UV 除去農ビ区の果皮硬度は、処理後 15 日目に 38.6gf と無処理区の 50.2gf より有意に低くなり、それ以降に収穫した果実でも同様に低かった。また、一般農ビ区の果皮硬度は、処理後 20 日目に 47.9gf と無処理区の 59.1gf より有意に低くなり、これ以降の 22 日目も同様に低かった。それぞれのフィルム平張り処理による UV-B 積算除去量と無処理区との果皮硬度の差の関係を第 4 図に示した。無処理区との果皮硬度差は、UV-B 積算除去量と強い負の相関があり、UV-B 積算除去量が一般農ビ区の処理後 20 日目の値である $77.6 \text{ kJ}/\text{m}^2$ 以上で有意に果皮硬度の低下が認められた。



第3図 フィルムの平張り日数がイチゴの果皮硬度に及ぼす影響

- 1) 処理開始日は2012年4月25日
- 2) Tukeyの多重検定により異文字間には5%水準で有意差あり, n. s. は有意差なし
- 3) エラーバーは標準誤差を示す



第4図 フィルムによるUV-B積算除去量と無処理区との果皮硬度差の関係

- 1) 無処理区との果皮硬度の差
- 2) 各果実が収穫までに除去されたUV-Bの積算量
- 3) *は各区の果皮硬度が無処理区と比べて5%水準で有意に低かったことを示す, n. s. は有意差なし (Tukeyの多重検定)
- 4) **は1%水準で有意であることを示す

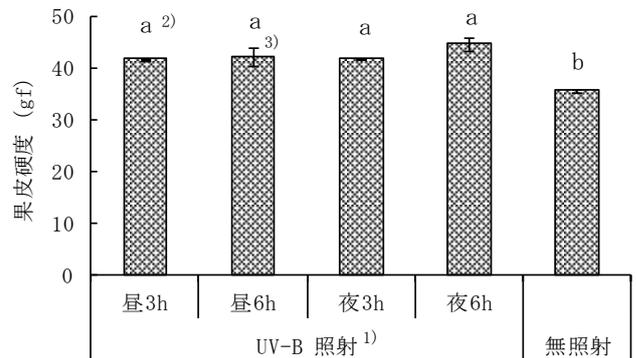
3 UV-B照射が果皮硬度に及ぼす影響

第5図にUV-B照射時間帯がイチゴの果皮硬度に及ぼす影響を示した。イチゴ果実にUV-Bを強度 8~10 μ W/cm²で昼間または夜間に3時間ならびに6時間照射すると、果皮硬度はUV-B照射区間では41.6~44.6gfの範囲で有意な差が認められなかったが、いずれの処理も無照射の35.6gfより有意に高かった。また、2012年 3月10日に開花した花が収穫に至るまでの日数(平均日数 \pm 標準偏差)は、

UV-B夜間照射の3時間区が37.4 \pm 1.62日、6時間区が37.8 \pm 1.35日で、いずれも無照射区の36.2 \pm 2.21日と比べて5%水準で有意な差が認められなかった(t検定)。なお、2月上旬にUV-B照射による実用上問題とならない程度の弱い葉焼けが、夜間6時間照射区の照射装置直下の株の上位葉で認められたが、それ以外の障害は観察されなかった。

第3表に夜間に照射したUV-B強度の違いがイチゴの果皮硬度に及ぼす影響を示した。UV-Bを強度 7 μ W/cm²で夜間に4時間照射すると、果皮硬度は1月が72.9gf、2月が76.1gf、3月が64.7gfで、無照射の56.1gf、66.4gfおよび54.3gfと比べていずれの月も有意に高くなった。一方、強度 3 μ W/cm²で4時間のUV-B夜間照射では、果皮硬度は1月が72.8gfで7 μ W/cm²と同等で無照射より有意に高かったが、2月が69.3gf、3月には51.1gfとなり無照射と比べて有意な差が認められなかった。

第6図に収穫前のUV-B夜間照射期間とイチゴの果皮硬度の変化を示した。UV-Bを強度3または10 μ W/cm²で夜間に6時間照射したとき、10 μ W/cm²では収穫前5日間連続照射した果実で果皮硬度が40.5gfと無照射の30.5gfより有意に高くなり、以降7日間および10日間照射した果実でも同様に高かった。3 μ W/cm²でも収穫前7日間連続照射した果実で果皮硬度が35.4gfと無照射の29.9gfより有意に高くなり、以降10日間照射した果実でも同様に高かった。



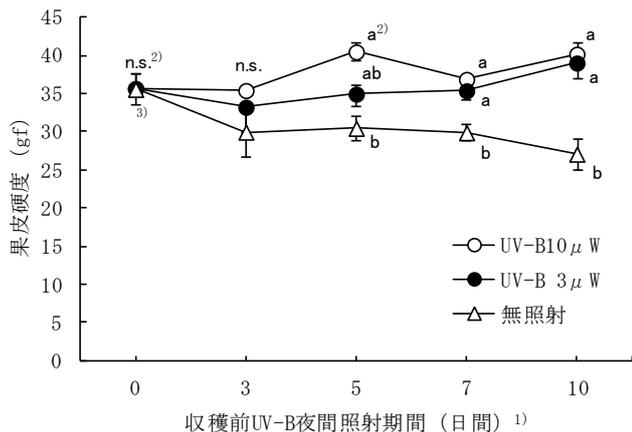
第5図 UV-B照射時間帯とイチゴの果皮硬度

- 1) 照射開始日は2012年1月18日、昼は10時から、夜は21時から8~10 μ W/cm²で照射、調査日は2012年4月11日
- 2) Tukeyの多重検定により異文字間には5%水準で有意差あり
- 3) エラーバーは標準誤差を示す

第3表 夜間に照射したUV-B強度の違いが果皮硬度に及ぼす影響

処理区	果皮硬度 (gf)		
	1月7日	2月19日	3月29日
UV-B7 μ W ¹⁾	72.9a ²⁾	76.1a	64.7a
UV-B3 μ W	72.8a	69.3ab	51.1b
無照射	56.1b	66.4b	54.3b

- 1) UV-B照射開始は2012年10月1日、毎日23時から4時間照射
- 2) Tukeyの多重検定により異文字間には5%水準で有意差あり



第6図 収穫前のUV-B夜間照射期間とイチゴの果皮硬度の変化

- 1) 照射開始日は2012年4月13日, 21時から6時間照射
- 2) Tukeyの多重検定により異文字間には5%水準で有意差あり, n. s. は有意差なし
- 3) エラーバーは標準誤差を示す

4 UV-B夜間照射による3~4月の果皮硬度上昇効果

本試験のUV-B夜間照射による3~4月の果皮硬度上昇効果を1日当たりの照射量でまとめると第4表のようになる。3~4月の果皮硬度は、無照射と比べて夜間のUV-B照射量が0.43kJ/m²/dでは高まらず、0.65~2.16kJ/m²/dの範囲で高くなった。

第4表 UV-B夜間照射と3~4月収穫果実の果皮硬度上昇効果

照射量 ¹⁾ (kJ/m ² /d)	UV-B強度 (μW/cm ²)	照射時間 (h)	3~4月の果皮 硬度上昇効果 ²⁾	有効照射期間
0.43	3	4	無	無効(開花~収穫)
0.65	3	6	有	収穫前7~10日間
0.86	8	3	有	開花~収穫
1.01	7	4	有	開花~収穫
1.73	8	6	有	開花~収穫
2.16	10	6	有	収穫前5~10日間

1) UV-B強度×1日の照射時間×36×10⁻³で算出

2) UV-B無照射と比べて果皮硬度が5%水準で有意に高かった処理を有とした

考 察

本研究では、イチゴ果実の日持ち性に強く関与し、収穫や調製作業時の取り扱いやすさにも影響する果皮硬度に着目し、栽培中の光環境条件、特にUVが果皮硬度に及ぼす影響について検討した。

栽培中の光環境について中川ら(1985)は、遮光により果実が軟らかくなり、日射量が果実の硬さに強く影響することを報告している。本試験でもイチゴの果皮硬度は、日表面が日裏面より高かった。このことから、日射が果皮硬度に一定の影響を及ぼしていると考えられ、同一個体に着生する果実でも受光状況が異なれば、果皮硬度に差が生じることが明らかとなった。

一般農P0フィルムを展張したハウス内で4~5月に

UV除去農ビフィルムを平張りすると、処理後15日目以降に収穫した果実で果皮硬度が低下した。また、一般農ビフィルムを平張りした場合でも、20日目以降に収穫した果実で果皮硬度が有意に低くなった。UV除去農ビ区と一般農ビ区で果皮硬度の低下傾向が異なったため、両区で透過率がほぼ同じであった可視光域が影響したとは考えにくい。UV-AおよびUV-Bは、両試験区間で透過率に差があったが、予備試験で果実にUV-Aを5.76kJ/m²/d(強度40μW/cm²×4時間)で40日間夜間照射しても果皮硬度に影響がみられなかった(未発表)こと、東尾ら(2009)もUV-Aの照射が果実の硬さに影響しないことを報告しており、果皮硬度の低下にUV-Aが影響している可能性は低いと推測した。そこで各区におけるUV-Bの積算除去量と無処理区との果皮硬度差の関係をみたところ、両者には強い負の相関が認められ、UV-B積算除去量が概ね78kJ/m²以上になると有意に果皮硬度が低下すると推定された。このことから、日射中のUVがイチゴの果皮硬度に影響を及ぼしていることが示唆され、収穫前の果実のUV-B積算受光量が果皮硬度に強く関与していると推察される。なお、このUV除去試験で処理後17日目(2012年5月11日)以降にみられた無処理区の果皮硬度の上昇は、5月2半旬に天候が回復して日射量が多くなっていることから、果実のUV受光量が増加したことに起因すると推測される。従って、イチゴ「福岡S6号」で3月以降に収穫果実の軟化を抑制し果皮硬度を高く保つためには、葉よけ作業などを行って果実への十分な日射を確保することが重要であると考えられる。

次に、イチゴの果実にUVを照射し、果皮硬度に及ぼす影響を検討した。UVを除去すると果皮硬度は低下し、果実にUV-Aを照射しても果皮硬度に影響がみられなかったことから、UV-Bが果皮硬度に影響すると推定されたためUV-Bの照射試験を実施した。本試験では、イチゴ果実にUV-Bを強度8~10μW/cm²で3時間または6時間照射したとき、昼夜いずれの照射時間帯においても4月の果皮硬度が無照射よりも高くなることが明らかとなった。植物体へのUV-Bの照射については、その照射がストレス刺激となって病害抵抗性遺伝子を発現し、うどんこ病やすかび病の発生を抑制することが報告されている(Kanto *et al.* 2009, 岡ら 2011)。また、UV-B照射による病害抑制効果は、昼間より夜間に照射した方がより低い照射量で現れるとされる(有元ら 2014, 松浦ら 2012, 森ら 2012)。本試験におけるUV-B照射による果皮硬度の上昇は、昼夜いずれの照射においてもその効果に差がなかったことから、UV-B照射による病害抑制効果とは作用メカニズムが異なる可能性が示唆された。さらに、果実の硬さは植物細胞壁の構成成分であるペクチン含量と密接な関係がある(稲荷・竹内 1997, 柏寄ら 2007, Ueda・Bai 1993)ことから、本試験の果皮硬度の上昇には、UV-B照射によるペクチンの生成に関連する酵素の活性化などが関与している可能性があり、今後解明が必要である。

一方でUV-Bの照射は、日焼けなど少なからず人体に影響を与える(大政・近藤 1993)ため、農作業がない夜

間に行うことが望ましい。そこで、UV-B の照射試験を夜間に限定して継続した。1～3月の夜間に $3\mu\text{W}/\text{cm}^2$ で4時間UV-Bを照射した試験において、果皮硬度は無照射と比べて1月では高くなったが、2月および3月ではいずれも差がなく、照射時期によりUV-Bに対する反応に差があることが明らかとなった。UVによる影響は生育環境や種の違いによって大きく異なり、栄養条件が悪いとき、水分欠乏のとき、気温が高いときなどはUV-Bに対する感受性が低下し、可視光が不足するときなどはUV-Bの影響が増大する(大政・近藤 1993)。また、光合成有効放射(400～700nm)とUV-Aには、UV-B照射による障害を保護する効果があり、それは植物がもつ適応化反応と光による障害修復反応によると考えられている(菅沼・村上 1998)。福岡市における全天日射量の平年値(1981～2010)(気象庁 2020a)は、1～4月にかけて毎月3割程度増加する傾向を示す。これらのことから、本試験において強度 $3\mu\text{W}/\text{cm}^2$ のUV-B夜間4時間照射で2、3月に果皮硬度の上昇がみられなくなったのは、気温の上昇や増加した日射量の影響を受けて、植物体がUV-Bの刺激に対して鈍感になったためと考えられる。一方で同じ強度 $3\mu\text{W}/\text{cm}^2$ でも、4月の夜間に毎日6時間照射したとき、収穫前7日間以上連続照射した果実で果皮硬度が無照射より高まった。本試験のUV-B夜間照射による1日の照射量と3～4月の果皮硬度との関係では、果皮硬度は無照射と比べて照射量 $0.43\text{kJ}/\text{m}^2/\text{d}$ では高まらず、 $0.65\sim 2.16\text{kJ}/\text{m}^2/\text{d}$ の範囲で高くなった。UV-B照射による病害抑制効果の発現は、強度と照射時間を乗じた照射量に左右される(有元ら 2014, 森ら 2012)。以上のことから、UV-B夜間照射による果皮硬度の上昇効果は、時期により反応に差が生じることが明らかとなった。また、日射量および気温が上昇してくる3～4月に果皮硬度を高めるには、厳寒期よりUV-Bの照射強度を高めるか、あるいは照射時間を長くして照射量を増やす必要があると推察された。そして、3～4月におけるイチゴ果実の果皮硬度の上昇効果は、夜間にUV-Bを $0.65\sim 2.16\text{kJ}/\text{m}^2/\text{d}$ の照射量で収穫前7日間以上連続照射することで発現すると示唆された。なお、 $2.16\text{kJ}/\text{m}^2/\text{d}$ によるUV-Bの夜間照射では、果実の成熟日数に影響しなかったが、低温期に実用上問題とならない程度の葉焼け症状が観察されたことから、これがイチゴの照射上限の目安になると考える。

以上のように、イチゴの促成栽培においてUV-B蛍光灯による夜間のUV-B照射は、収穫時の果実の果皮硬度を高めることができ、本技術が実用化すればイチゴ果実の日持ち性の向上に寄与する可能性がある。そのためには今後、UV-B照射による収穫後の果実の貯蔵や輸送試験を行い、実際の日持ち性や棚持ち期間の延長に及ぼす影響を検証する必要がある。

引用文献

有元倫子・長谷部匡昭・山田 真・青木慎一・江波義成(2014)UV-B夜間照射によるイチゴうどんこ病防除効

- 果一照度・照射時間の検討一. 関西病虫研報 56 : 75-76.
- Brederode FT, Linthorst HJM and Bol JF (1991) Differential induction of acquired resistance and PR gene expression in tobacco by virus infection, ethephon treatment, UV light and wounding. *Plant Mol.Biol.* 17 : 1117-1125.
- 福岡県園芸振興推進会議(2006)花芽分化操作. 平成 18 年度版「あまおう」栽培の手引き. 福岡県, p. 28-34.
- 後藤昌弘・後藤隆子・茶珍和雄(1998)100%CO₂処理がイチゴ果実の硬度および貯蔵性に及ぼす影響. 日食保蔵誌 24 : 159-163.
- Green R, Fluhr R (1995) UV-B-induced PR-1 accumulation is mediated by active oxygen species. *The Plant Cell.* 7 : 203-212.
- 林田達也・柴戸靖志・尾形武文(2004)紫外線UV-B照射によるレタス苗の徒長抑制効果. 福岡農総試研報 23 : 59-62.
- 東尾久雄・廣野久子・佐藤文生・徳田進一・浦上敦子(2009)ブラックライト蛍光灯の照射がイチゴ果実の着色および果実硬度に及ぼす影響. 園学研 8 : 503-507.
- 稲本勝彦・裴 恩廷・土井元章・今西英雄(1995)紫外線照射によるコスモスセル成型苗の徒長抑制. 園学雑 64 : 599-604.
- 稲荷妙子・竹内徳男(1997)イチゴ果実の成熟におけるペクチンの変化. 食科工誌. 44 : 319-324.
- Kanto T, Matsuura K, Yamada M, Usami T and Amemiya Y (2009) UV-B radiation for control of strawberry powdery mildew. *Acta Hort.* 842 : 359-362.
- 柏寄 勝・永末 健・五月女英平・中島教博・大森定夫(2007)イチゴ果実硬度の非破壊測定に関する基礎的研究. 第 1 報 果実硬度と細胞壁構成成分の関係. 農機誌 69 : 49-56.
- 気象庁(2020a)過去の気象データ. 東京, <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> (2020年5月1日閲覧).
- 気象庁(2020b)日積算 UV-B の月平均値の数値データ表. 東京, https://www.data.jma.go.jp/gmd/env/uvhp/uvb_monthave_tsu.html (2020年5月1日閲覧).
- 松本明芳・平野稔彦・山下純隆(1985)イチゴの流通技術の確立に関する研究. 第 2 報 貯蔵温・湿度と入庫の遅延が鮮度に及ぼす影響. 福岡農総試研報 B5 : 47-52.
- 松浦克成・神頭武嗣・山田 真・石渡正紀(2012)紫外光(UV-B)照射法の違いがイチゴうどんこ病および果実収量に及ぼす影響. 関西病虫研報 54 : 125-126.
- 望月龍也・稲川 裕・船倉英一郎・野口裕司・曾根一純(2001)促成イチゴ果実における日持ち性の評価方法と品種間差異. 野菜茶試研報 16 : 1-7.
- 門馬信二・上村昭二・吉川宏昭(1977)イチゴ果実の硬さ測定法と品種間差異. 野菜試報 B1 : 1-11.
- 門馬信二・上村昭二(1978)イチゴ果実の日持ち性の品種

- 間差異並びに日持ち性と果皮・果肉の硬さとの関係. 野菜試報 B2 : 1-10.
- 森 亮介・笹川高志・岡田清嗣(2012)UV-B ランプ夜間照射によるトマトすすかび病防除効果. 関西病虫研報 54 : 139-141.
- ナ ファン ワサナ・川田和秀・松井年行(1999)収穫前のカルシウム葉面散布と収穫後の高 CO₂ 処理によるイチゴ‘女峰’の貯蔵性の改良. 植物工場誌 11 : 165-172.
- 中川勝也・小林尚武・澤 正樹・時枝茂行・永岡 治・森俊人(1985)そ菜・果実の流通技術に関する研究. 第7報 イチゴの収穫時期・収穫時間帯と果実品質および良品のための内容成分モデルの設定. 兵庫農総七研報 33 : 83-88.
- 農林水産省(2018)平成29年度野菜生産出荷統計. 農林水産省大臣官房統計部, 東京, <http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakusaku/index.html> (2020年5月1日閲覧).
- 野内 勇(1997)紫外線(UV-B)増加は農作物の生長・収量に影響を及ぼすか〔2〕. 農業および園芸 72 : 685-690.
- 岡 久美子・山田 真・石渡正紀・岡田清嗣(2011)ナスにおける紫外光(UV-B)照射による病害抵抗性誘導とすすかび病の防除効果. 日植病報 77 : 23-27.
- 大政謙次・近藤矩朗(1993)成層圏のオゾン層破壊とその影響. 照明学会誌 87 : 146-149.
- 大竹良知・田中喜久(1988)パック詰め前予冷によるイチゴ果実の鮮度保持. 愛知農総試研報 20 : 260-268.
- 佐藤公洋・北島伸之(2007)イチゴ‘あまおう’における果実品質の収穫時期別推移および果実品質と成熟期間中の温度との関係. 福岡農総試研報 26 : 45-49.
- Smith, Richard B (1992) Controlled atmosphere storage of ‘Redcoat’ strawberry fruit. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 117 : 260-264.
- 菅沼浩敏・村上克介(1998)UVの生物の生理・生態への影響. UVと生物産業(社団法人照明学会(編)). 養賢堂, 東京, p. 51-62.
- 堤 智博・山下純隆・大森 薫(2005)イチゴ‘あまおう’の品質特性. 第1報. 収穫時期, 着色程度別の果実品質. 福岡農総試研報 24 : 1-4.
- 内山善雄・吉松敬祐(1977)イチゴの日持ちと収穫時期およびN成分の関係. 山口農試研報 28 : 51-57.
- Ueda Y, Bai JH (1993) Effect of short term exposure of elevated CO₂ on flesh firmness and ester production of strawberry. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 62 : 457-464.